第4章

放熱，事後対策の進め方

温度分布や空気の流れの正確な把握と各種対策部品の使いこなしが鍵

松居洋一，野村太一郎

放熱設計は事前の検討と対策が鍵であると分かっていても，十分に実施できない場合がある．放熱設計を行おうとしたときに，きょう体やプリント基板の仕様がある程度固まってしまっていることもある．ここでは，試作機が出来上がってしまった段階における放熱対策の進め方について説明する．　（編集部）

ほとんどの製品開発においては，製品が完成するまでに何も問題が発生しないということはめったにありません．試作機が出来上がってきたときに設計通りの動作をしないのであれば，これは誰が見ても問題です．ですが，製品の動作には問題ないものの，部品温度が部品の仕様を満たしていなかったり，きょう体の表面温度が触れないほど熱くなっていたらどうでしょうか．部品の寿命が短くなって製品の故障率が悪化する，あるいはユーザが直接接触する部分が熱くなったら，やけどの危険性が懸念されます．最近の電子機器の高性能化，小型軽量化はこれらの諸問題と隣り合わせと言えるでしょう．

試作機の段階で熱の問題が発生した場合，大規模な設計変更はスケジュール的に難しくなります．しかし，解決の方法はあります．まずは問題の本質を見極めて，スケジュールとのトレードオフを考慮しつつ，根本原因に対して手順を追って対策を検討することになります．本稿では事後対策の手順と事例について説明します．

ステップ1　温度分布の確認

● 測定条件を決め，必要なソフトウェアなどを準備する

まずは問題を特定します．製品内部の部品温度やきょう体の表面温度を測定し，基準温度を満たしていない個所を特定します．温度測定時には初期設計時にあらかじめ決めていた測定方法（製品を動作させるソフトウェア，外部接続部品装置の状況，ファンの回転数など）を用いて確認する必要があります．また，部品には消費電力などの個体差があります．この個体差をどのように扱うか（測定時に高めの負荷をかける，温度測定時に消費電力の高い部品を選んで使用するなど）を決めておきましょう．

ここでいう温度測定には，部品温度やきょう体表面温度の測定はもちろんですが，できればそれ以外に空気の流れが設計通りになっているかの測定を含みます．また，強制空冷システムの場合には冷却装置の騒音が基準以内に収まっているかなどについても確認する必要があります．

● 発熱密度の高い個所を優先的に測る

温度の測定個所としては，発熱密度の高い部品およびきょう体表面の高温部分を優先して測定する必要があります．発熱密度の高い部品は，部品メーカのカタログ値からある程度は推測できますが，赤外線温度計などで表面温度が高くなっているボード上の部品，およびきょう体表面の温度分布を確認すればより確実です（**写真1**）．ただし，フリーエア中にてボード単体で測定した温度分布は，きょう

KeyWord　瞬間接着剤，カプトン・テープ，チョークの粉，タフト法，エアフロー・テスタ，ヒートパイプ，ヒートスプレッダ，コルゲート・フィン，グラファイト・シート

体内にボードを収納した状態の温度分布とは異なる可能性があります．

フリーエア中で温度が低い部品でも，きょう体に組み込んだ状態で空気の流れが不足したり，ほかの部品の発熱が伝達することにより温度が高くなったりする可能性があります．発熱密度の高い部品は次項で説明する熱電対を使っての正確な温度の確認をした方がよいでしょう．

● 熱電対できょう体内部の温度を正確に測定する

次に，部品が基準温度以下になっているかどうかをより正確に判断するために，熱電対を使って温度を測定します．このとき注意することは，熱電対を測定個所に貼り付けることにより，製品内の空気の流れを変えないようにすることです．そのためには，できるだけ細い熱電対を使って，熱電対を貼り付けた状態が空気の流れの障害にならないように配慮する必要があります（**写真2**）．また，測定する部品と熱電対の接触を確実なものとするために，例えば瞬間接着剤とカプトン・テープの併用が効果的です（**写真3**）．

写真1　赤外線温度計による部品温度分布の確認例

写真2　熱電対の貼り付け例

● 再現性の高い測定を行う

特に製品のきょう体表面温度を測定する際には，周囲の空気の状態が重要になります．きょう体表面の温度測定個所に風が吹くことで，温度が変化してしまっては正確な測定はできません．周囲の空気の流れが安定するように，部屋のエアコンを停止する，測定物の周囲に囲いを設けるなどの対応が必要になります．この後対策を行っていくためには，測定の再現性を考慮して測定環境と測定仕様を定めておくことが重要です．周囲温度の測定位置が異なったり，きょう体の組み立て手順や測定時のソフトウェアの稼働状態が変わったりするだけで温度が変わってしまいます．周囲温度を測定する位置は，測定物の発熱の影響を受けない一定の位置に決めましょう．

CPUなどの重要な部品は，できれば温度測定と同時に，消費電力の調整および測定を行うと，測定の再現性を確保するのに役立ちます．

なお，温度を測定する際には，その製品の温度が安定するまでにどのくらいの時間がかかるかを把握して，時間に十分余裕を持って温度の安定した状態で測定することにより，再現性を確保します．

ステップ2　空気の流れを把握，制御する

温度が基準よりも高い部品，あるいは温度が基準よりも

写真3　瞬間接着剤とカプトン・テープの外観

高いきょう体表面上の個所が特定できたら，次は根本原因を特定していきます．例えば，きょう体表面上に温度が高い個所がある場合には，その熱源がどこにあるのかを検討します．熱源となる発熱部品を特定することで，熱対策の方向性が見えてきます．熱源である発熱部品そのものが基準温度を満たしていないのであれば，まずは発熱部品の温度を下げることに着手します．

● 空気の流れを可視化する

次に空気の流れを確認します．空気の流れを可視化するには，チョークの粉を使ってきょう体中の空気の流れの軌跡を残す方法，糸や毛糸を用いるタフト法などのさまざまな方法があります．

手軽な方法としては煙により空気の流れを可視化する方法があります．煙には入手しやすい線香などが一般的ですが，無害な炭酸ガスを大量に発生することができる専用のエアフロー・テスタ（**写真4**）を使用する方法もあります．**写真5**に実際の空気の流れを測定しているようすを示します．

● 空気の流れを最適化する

空気の流れの最適化に関して，ここでは要点を二つ説明します．

一つ目はきょう体の吸気口と排気口の最適化です．これらの位置，開口率（吸排気口の総面積のうち，穴の占める面積の比）などが，問題となっている部品に対して最適かどうかが重要なポイントになります．吸気口と排気口の位置は，本来なら初期設計の時点で最適化されていることが望ましく，また，きょう体の吸排気口位置の変更のような大規模な変更は試作機ができてしまった段階では受け入れられない可能性があります．

大規模な変更が受け入れられない場合，二つ目の方法として，

- 対策が必要な発熱部品の位置を考慮して不要な吸排気口をふさぐ，あるいは開口率を調整する
- 整流板を追加することで対策が必要な部品に対して空気の流れを集中させる（**図1**）
- きょう体内部に空気をかき回すためのファンを追加することで，きょう体内の空気の流れを改善する

といった方法を検討します．

写真4　エアフロー・テスタの例
米国Cambridge Accusenseの「FlowMarker」．

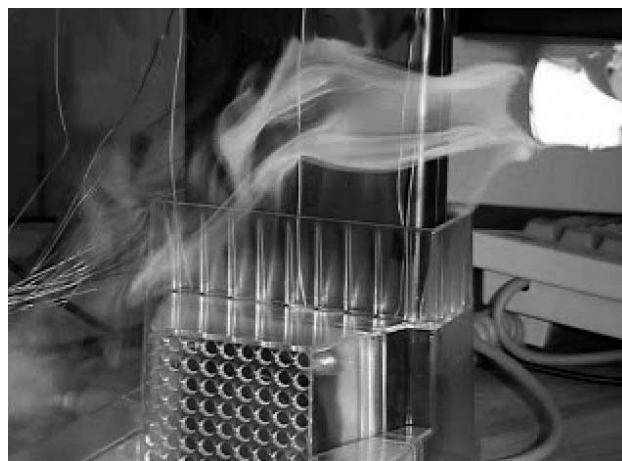



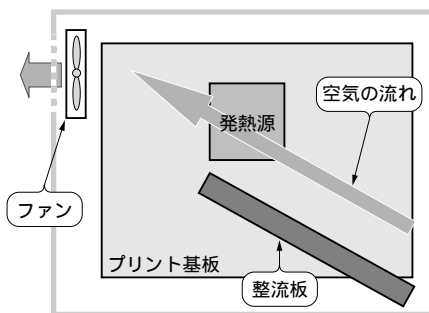
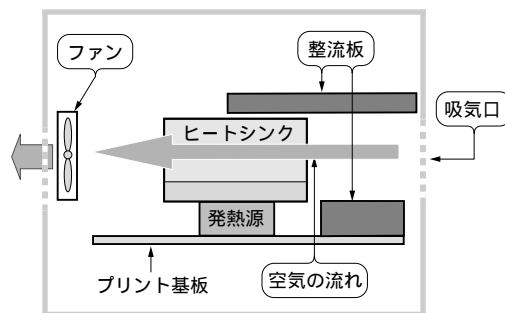
写真5　エアフロー測定のようす

（a）例1…プリント基板上の発熱源への流れを改善

（b）例2…発熱源に対する高さ方向の流れを改善

図1
整流板によるエアフロー改善例
空気の流れを集中させ，放熱効果を改善する．

● 自然空冷システムにおける放熱最適化

自然空冷を利用したシステムを見直す場合には，

- きょう体の吸気口と排気口を大きくする
- 発熱部品にヒートシンクを使用する，あるいはヒートシンクの性能を強化する
- ヒートパイプを使って放熱面積を増やす
- きょう体内部のケーブルなどの風の流れを妨げている障害物がないかどうかをチェックする

といった対策が考えられます．それでも温度が基準を満たさない場合には，ファンを使った強制空冷システムを検討する必要があるかもしれません．

● 強制空冷システムにおける放熱最適化

強制空冷システムの採用を検討する際にはまず，

- 高い発熱部に新鮮な空気の供給が十分に行われる構造になっているか
- ファンからの空気吐き出し流路に計算外の抵抗物がないか

を確認します．排気口の開口率やルーバの形状も，放熱能力に多大な影響を与えます．さらにファンの出口から暖かい空気の回り込みなどがないかを確認し(**図2**)，問題があった場合は対策を施します．

これらを確認しても問題が見つからない場合は，放熱に必要な能力を持ったファンを使っているか再確認します．同じ寸法のファンでも，さまざまな特性を持ったファンが存在するので(**表1**)，いくつかのファンを手に入れて試してみることも一つの方法です．

自然空冷システムに対する対策に加えて，ファンの個数を増やす，風量を増やすといった性能強化を検討します．

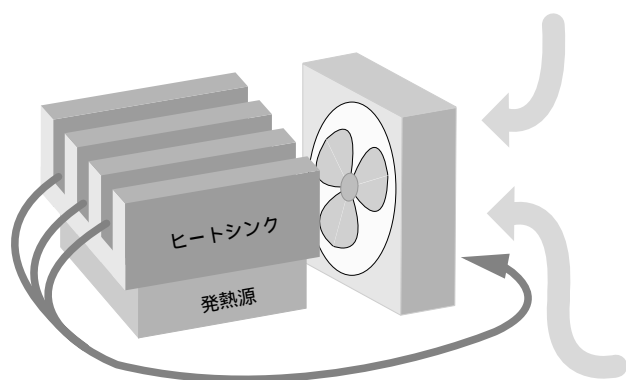



図2　ファンの吸気と排気は分離する
図のように排気の回り込みがあると，放熱効率が悪くなる．

ステップ3　熱を拡散させるヒートシンクを見直す

空気の流れを制御しても，熱を取りきれない場合には，ヒートシンクに注目します．

● ヒートシンクそのものの温度分布を確認する

ヒートシンクの形状を決定する大きな要因は放熱面積です．ただし，放熱面積を増やしても期待通りに冷却能力が高まらない場合があります．この原因としては，ヒートシンクの末端まで十分に熱源(発熱部品)の熱が伝わっていない可能性があります．ファンとの位置関係によってはピッチの狭いフィンがかえって空気抵抗となり，うまく冷却風が流れていない可能性も考えられます．これらを改善するために，フィンの間隔や高さ，形状，ヒートシンク・ベースの面積および厚さを最適化する必要があるかもしれません．また，一般的なヒートシンク材料であるアルミニウムの代わりに，熱伝導率の高い銅を使用することも効果があります．さらに，ヒートシンクのベース部やフィン先端部といった部分ごとの温度を確認することで，ヒートシンクの取り付けが不十分ではないか，発熱部品とヒートシンクとの間の熱伝導材料が密着部全体に均一に機能しているかどうかを確認します．

● 接触や放熱構造に問題はないのか確認する

そのほかのヒートシンク性能の改善点としては，

- ヒートシンクと発熱部品の間の熱伝導材料(サーマル・ラバーやサーマル・グリス)に熱抵抗の低いものを選択する

表1[8]　ファン性能の違いの例

型式番号	定格電流(A)	風量(m^2/min)	騒音(dB)	静圧(Pa)	寸法(S)(mm)	定格回転速度(min^{-1})	厚み(L)(mm)	定格電圧(V)
1604KL-04W-B30	0.062	0.12	22	24	40	4500	10	12
1604KL-04W-B40	0.073	0.15	25	34	40	5500	10	12
1604KL-04W-B50	0.073	0.17	29	46	40	6500	10	12

- アルミニウム製のヒートシンクの場合には表面にアルマイト処理をする
- ヒートシンクにヒートパイプを組み込む

といった対策があります．ヒートシンクの材料を銅にしたりヒートパイプを使用したりすることで，ヒートシンク全体に熱が拡散するようになり，ヒートシンクの冷却性能が改善します．

写真6[6]　ヒートパイプとヒートシンクを組み合わせた冷却部品

● ヒートシンクの周りに空気の流れがあるのか確認する

空気の流れを確認した結果，問題となった発熱部品周囲に空気の流れがない場合には，

- ヒートパイプとヒートシンクを組み合わせた対策部品（写

COLUMN　熱対策部品の選択方法 1－冷却ファン

自然空冷において，製品の冷却が難しい場合，ファンの採用を検討します．ファンを使ってはいるものの，冷却能力が不足しているような場合は，冷却ファンの見直しが必要です．

● 冷却ファンには大きく三つある

一般的な冷却ファンには，軸流ファン，遠心ファン，横流ファンがあります（**図A**）．

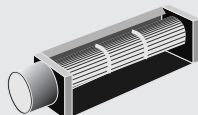
軸流ファンは軸方向に風が流れ，大きな風量が得られます．装置全体の冷却といった用途に適しています．

遠心ファンは，羽根の半径方向に風が流れます．高密度に実装された機器あるいは局所的冷却といった高風圧が必要な用途に適しています．

横流ファンは軸方向に長い均一な風速の送風幅を持つことが可能なファンです．広範囲に温度を一定にする用途に適しており，エア・カーテンなどに使われています．

● PQ特性

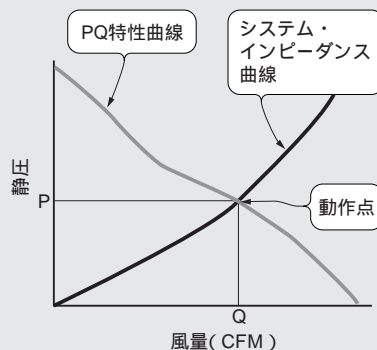
電子機器において，用途として高い風圧が必要か，大きな風量が必要なのかを検討してファンを使い分けることになります[1][2]．そのときファンの風圧と風量を判断する基準となるのが，カタログに載っているPQ特性（静圧，風量特性）です．

PQ特性は一般的に（**図B**）のように表されます．これを利用すると，使用する機器のきょう体のシステム・インピーダンス（通風抵抗，つまり静圧）に対して，どれだけの風量が得られるかを導出できます．

PQ特性の図において，風量がゼロの場合に静圧は最大になり，静圧がゼロの場合に風量が最大になっています．ファンを使用する機器のきょう体のシステム・インピーダンス曲線とPQ特性曲線の交点によって動作点が決定され，静圧と風量を予測できます．ただし，機器の通風抵抗を正確に測定するには，専用の測定装置が必要になります．イメージとしてはシステム・インピーダンスが比較的低い用途には軸流ファン，システム・インピーダンスが比較的高い用途には遠心ファンが使用されることが多いようです．

実際にファンを選定する場合は，例えば以下の経験式を使って，おおよその必要な風量を導き，許容寸法や騒音特性などを考慮して選定する方法があります[3]．

$W = 1150 Q \Delta_T$

ただし，W：消費電力（W），Q：換気風量（m^3/s），Δ_T：内部空気温度上昇（K）とする．

ここでは必ずマージンを考慮した選定が必要です．

図B　ファンのPQ特性例

使用する機器のきょう体のシステム・インピーダンス（通風抵抗，つまり静圧）に対して，どれだけの風量が得られるかを導出できる．

（a）軸流ファン

（b）遠心ファン

（c）横流ファン

図A　冷却ファンの種類

真6）などを使って，空気の流れが存在する場所まで熱を運ぶ

- スペースに余裕があるのならば，きょう体内部に小型ファンを追加して，ヒートシンク周りに局所的に空気の流れを作り出す

などの対策も有効です．

ステップ4　きょう体を含めた全体の放熱構造を見直す

きょう体表面の温度が基準を満たしていない場合は，

- 熱源（発熱部品）の温度を下げるといった根本的な対策
- 発熱部品ときょう体との熱伝導経路の一部を断熱
- ヒートスプレッダにより熱を拡散
- 再度，空気の流れを見直す

などの対策が考えられます．

ただし，金属板などのヒートスプレッダを使っても，空気の流れが全くない場合には，時間が経過するにつれ金属板の温度が発熱部品温度に近づきます．きょう体表面温度の問題個所に対してヒートスプレッダを使用することと並行して，空気の流れを強化することが必要です．

コストが許せば，グラファイト・シートの使用を検討するのも一つの方法です[5]．グラファイト・シートは，平面方向へは金属板と同等あるいはそれ以上の熱伝導率を持ち，厚さ方向への熱伝導率が平面方向の数十分の1という性質を持ちます．

ステップ5　騒音は規定値を超えていないか

● 風量を増やせば騒音も増える

強制空冷システムにおいては，熱と騒音は相互に関連し

☛ COLUMN　熱対策部品の選択方法 2－ヒートシンク，ヒートパイプ

■ヒートシンクの選択

● 表面積が冷却性能を決める

ヒートシンクは発熱部品を放熱し，熱を拡散するために使用します．このため，ヒートシンクの表面積と熱伝導率が冷却性能を決定します．また，冷却性能は，冷却風の風速に依存するため，強制空冷システムにおいてはヒートシンクの圧力損失が重要な要因となります．

まずは，ヒートシンクの表面積を増やすために，フィンを工夫することが考えられます．フィン形状としては，プレート型フィン，ピン型フィン，格子フィン，コルゲート・フィンといったものが考えられています（**図C**）．最近ではフィンピッチを狭めることで放熱面積を増やしたスタックフィン・ヒートシンクやクリンプフィン・ヒートシンク（**写真A**）という高性能ヒートシンクを使用することもあります．

（a）プレート型フィン

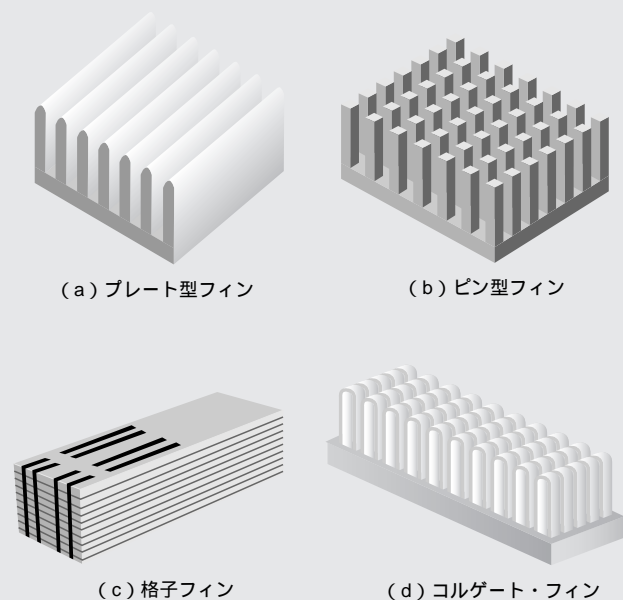
（b）ピン型フィン

（c）格子フィン

（d）コルゲート・フィン

図C　フィン形状の例

■ヒートパイプの選択

最近，さまざまな機器において使用されるようになったヒートパイプは，使用状態にもよりますが，銅の数十～数百倍の熱伝導率を持ちます．熱伝導率の非常に高い伝導材と考えることができ，問題となっている熱を低温部に効率良く運ぶために使用しますが，注意すべき点もあります．

表A[9]　ヒートパイプの性能の目安

ヒートパイプ外径（mm）	最大熱輸送量	
	丸型（W）	平板型（W）
3	13	10
4	25	15
5	40	27
6	60	35
7	85	41
8	110	47
9.5	150	58

あっています．特にファンの騒音が問題になることが多くあります．電子機器から発生する騒音によりユーザが不快にならないよう，機器メーカによっては騒音の基準を設けて管理する場合があります．

強制空冷システムの性能を向上させるためには，ファンの風量を増加させる，ファンの個数を増やすなどの方法が考えられます．しかし，ファンの冷却性能増強が騒音特性により制限されることが多々あります．

騒音測定の方法については，例えば，情報機器に対しては国際規格ISO 7779などに記載があります．おおよその値が分かればよい場合には，簡易騒音計などを使って測定する方法もあります．

● 騒音特性の改善方法

少々乱暴な言い方をすると，強制空冷システムでは，ファンの風量を増やすほど冷却性能は強化されます．ですが，通常の製品には騒音特性の基準が定められていることが多く，たいていはこの騒音基準を満たすファンの風量が冷却性能を決定します．

熱対策の一つとして製品の騒音特性を改善するには，ファン自体を改善する方法と，それ以外の部分を改善する方法が考えられます．ここではファン以外の部分を改善する事例を説明します．まず，きょう体における騒音対策ですが，

- きょう体の通風抵抗を減少させるためにケーブルを束ねて固定するなどして通風路の障害物をなくす，あるいは整流部品を使用する
- ファンと吸気口（排気口）との距離を遠ざけることで，空気の流れの乱れと通風抵抗を減少させる
- 排気口周り（ダクト内側）に，スポンジなどの吸音効果のある材料を使用した吸音ダクトあるいは吸音フィルタを形成する

● 熱輸送能力を越えないように使う

ヒートパイプの性能を引き出すためには，熱源の熱量がヒートパイプの熱輸送能力を越えないようにしなければなりません．ヒートパイプの熱輸送能力は，ヒートパイプのメーカから情報を入手できます．一般的にはヒートパイプの断面積が大きいものの方が，小さいものよりも熱輸送能力は高くなります（**表A**）．

さらに，ヒートパイプを使用する場合には実装上の理由でヒートパイプをつぶす，あるいは曲げて使用することも多くなります．この場合もヒートパイプの熱輸送能力は低下するので注意が必要です．熱輸送能力に見合った径のヒートパイプを使用するか，あるいはヒートパイプを複数，並列して使用することを検討します．

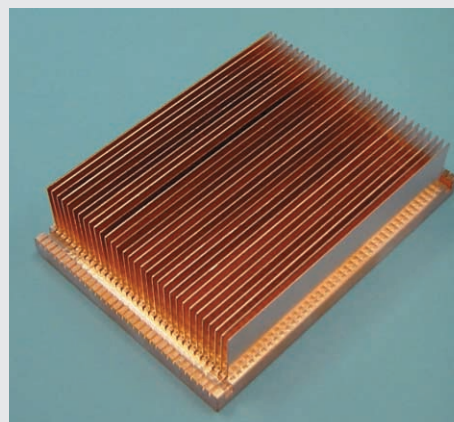
● その他の注意事項

ヒートパイプの能力を最大限に引き出すためには，受熱部と放熱部（ヒートパイプ両端）の温度差を十分に確保することが望まれます．また，ヒートパイプの内部構造によっては，受熱部を放熱部よりも高い位置に設計してしまうとヒートパイプの性能が十分に引き出されない場合があります．また，ヒートパイプの作動液として水を使っている場合には，低温で使用される場合の凍結に配慮する必要があります[4]．

最近では，平面型のフラット・ヒートパイプ，あるいはヒートパイプと原理は異なるものの平面型に熱を拡散する能力が非常に高いヒートレーンといった熱対策部品がありますから，使用目的と実装条件に合わせて選びます．

＊　　　＊

熱測定や熱対策，熱シミュレーションを活用しての熱設計，熱解析では，一連の熱業務を支援するサービスを活用する方法もあります．

- 熱設計：熱解析シミュレータを使用し，製品の設計開始時点から，熱問題に対する対策の織り込みを行う．
- 熱解析：製品の設計初期から，熱処理の解析を行い，問題の有り無しを検討する．
- 熱測定：試作段階の製品の精密な熱関連の測定を行う．同時に冷却ファンによる騒音などの問題がないかの測定を行う．
- 熱対策：熱解析・測定解析結果に基づく対策の提案，製品への適用検証などを行う．

筆者ら（日本アイ・ビー・エム）による熱解析業務支援サービスは，以下のWebページでご確認ください．

http://www.ibm.com/jp/design/service/mecha.html#no5

TDSADMI@jp.ibm.com

写真A[7]　**クリンプフィン・ヒートシンク**

●ファン自体の振動がきょう体に伝わるのを防止するために，ファンの取り付けに防振材を使用する

などの方法があります．

ヒートシンクについては，フィンの形状によって騒音特性が変わってきます．同じ騒音レベルにおける冷却性能を比較することにより，冷却性能改善と騒音特性のトレードオフを考慮してフィン形状を決定する必要があります．特に排気口付近にファンを設置する場合には，排気口付近で排気が逆流してファンの吸気と排気が混合してしまう場合があります．このような場合には排気と吸気を遮へい板により隔離することで，冷却性能だけでなく騒音特性も改善する場合があります．

ステップ6　熱対策の心構え

● 何が今までと違うのか

熱の問題が発生したときこそ，問題の発生原因を冷静に考えてください．犯人を捜して，恨みをぶつけるためではありません．部品の発熱量の見通しが間違っていたのか，想定していなかったほど高い負荷で使用されたためか，製品の仕様や設計が知らないうちに変更になってしまったからか….特定の部品の発熱量や設計内容が当初の予定と違っていれば，熱対策の方向性がおのずと見えてきます．また，使用するソフトウェアにおける負荷の読み間違いや製品の仕様変更が原因の場合には，当初，冷却システムを設計したとき前提とした発熱量よりも高い大きな発熱量を冷却するわけですから，冷却システムの能力自体を増強する必要があります．

これは熱だけに限った問題ではないと思いますが，問題が発生したら，そして問題が一段落したら，製品開発工程自体に問題がないかどうかの見直しと次期製品開発工程への反映が重要です．初期設計は特に部品の発熱量，製品の使用方法（温度測定方法）の見積もりを正確に行うことが重要です．また，開発期間中は熱に関係する（関係しそうな）設計変更が入らないかどうかを常に気を付けてください．

● 熱問題…原因も解決方法も一つではない

熱問題の原因は複数の要因が関係することも多く，特定することが困難な場合があります．また，熱問題に対しても，対策のコストが問題となる場合，重量が問題となる場合，体積が問題となる場合など，さまざまな対策が必要とされるので，必ずしも正解は一つではありません．むしろさまざまな熱対策を組み合わせることの方が一般的です．また，熱問題を解決するために有効な対策が，製品の機械的強度やEMC特性を悪化させる場合すらあります．実際の熱対策はくれぐれも製品開発を全体的に指揮しているマネージャ，およびほかの要素技術の担当者と密接に協業しながら進める必要があります．

＊　　　＊

電子・電気機器の高性能化に伴って消費電力も増大し，製品開発では熱の問題をどう解くかが最も大きな課題となってきています．熱対策にはコストと時間がかかり，場合によっては製品の性能やきょう体の形状まで変更せざるを得なくなります．このような問題を回避するためには開

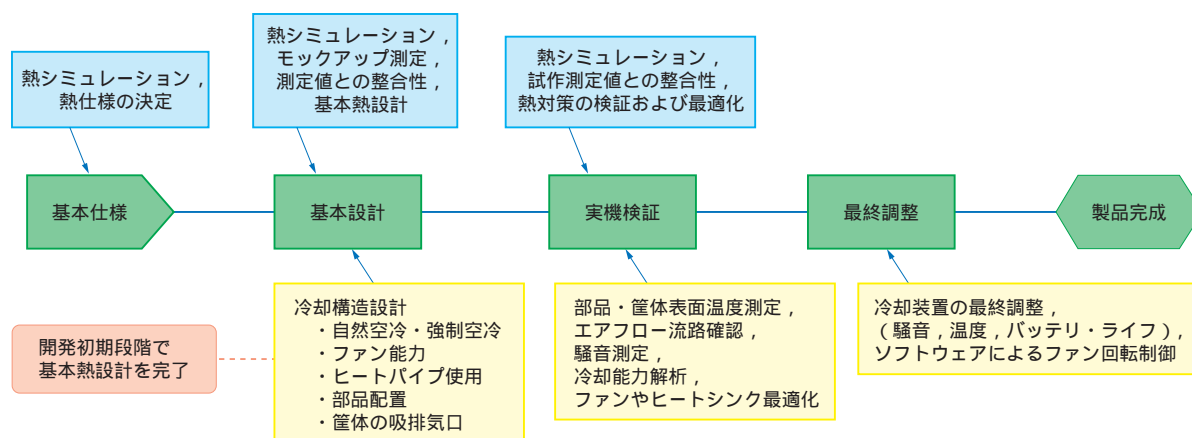



図3　製品開発における熱設計，熱対策の流れ

実測データを用いて何度か試行比較し，実測結果との整合性を取り，シミュレーション・モデルに反映させていくこと．

発の初期段階で熱設計を行うことが非常に重要です．熱設計で部品配置やきょう体の寸法，吸排気口の位置，熱対策部品の採用などを的確に決めることにより，試作段階での大きな問題を避けることが可能になります．

熱設計と言っても，適正に行うことはそう簡単ではありません．熱設計には熱流体解析シミュレーションを使用するのが有効ですが，このシミュレーションには誤差要因が必ず含まれています．そのことを認識し，得られた結果がある程度正しいのか，設計マージンをどのくらい取る必要があるのか判断する目を養う必要があります．熱設計の教科書などに簡易な計算式も載っているので併用することをお勧めします．

シミュレーション・モデルの作成においても，既存の製品やモックアップ試作品による実測データを用いて何度か試行比較し，実測結果との整合性を取り，シミュレーション・モデルに反映させていくことが必要です．望ましい熱設計，熱対策の流れの一例を図3に示します．特に小型製品の開発においては，製品の性能や形状を決めるために熱設計が必須となってきているので，ぜひ熱設計に関するノウハウを蓄積しておくことをお勧めします．

参考・引用*文献

(1) 伊藤謹司，国峰尚樹；トラブルをさけるための電子機器の熱対策設計 第2版，2006年8月，日刊工業新聞社．
(2) 鈴木昭次著，オリエンタルモーター監修； 電子機器設計のためのファンモータと騒音・熱対策，2001年4月，工業調査会．
(3) 国峰尚樹；エレクトロニクスのための熱設計完全入門，1997年7月，日刊工業新聞社．
(4) 贄川潤，木村祐一；マイクロヒートパイプと放熱技術入門，1999年4月，日刊工業新聞社．
(5) “ PGS ”グラファイトシート仕様書，松下電器産業．
http://industrial.panasonic.com/www-data/pdf/AYA0000/AYA0000CJ2.pdf
(6)* スタックフィンヒートシンク，古河電工．
http://www.furukawa.co.jp/ELC/thermal/stacked_fin.htm
(7)* クリンプフィン・ヒートシンク，古河電工．
http://www.furukawa.co.jp/ELC/thermal/crimped_fin.htm
(8)* DC軸流ファンモーター，ミネベア．
http://www.eminebea.com/usa/eMinebea
(9)* ヒートパイプ，フジクラ．
http://www.fujikura.co.jp/elect_material/ej1_130/pipe130a.html

まつい・よういち，のむら・たいちろう
日本アイ・ビー・エム(株)

<筆者プロフィール>

松居 洋一．1990年に日本アイ・ビー・エムに入社．電子部品の信頼性評価，熱設計・熱解析・熱対策業務を中心に従事してきた．ほかのメンバが最初は反対するような，とにかくやってみよう対策が得意技．熱業務に従事することで辛抱強い性格になった気がする．

野村 太一郎．1983年に日本アイ・ビー・エムに入社．半導体生産技術，電子部品の信頼性評価，メモリ・シグナル解析，熱設計および対策業務に従事してきた．信頼性/熱設計を行った人道目的のための地雷探知機が，炎天下のカンボジアで動作した時の感動は忘れられない．

4